

S/N: TBA

7/28/2003

DOCKET NO.: SUG-168-USAP

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: Masayuki SHINOHARA, et al.

Serial No.: TO BE ASSIGNED

Art Unit: TO BE ASSIGNED

Filed: July 28, 2003

Examiner: TO BE ASSIGNED

For: Method of Fabricating a Light Emitting Device, and Light
Emitting Device

PRIORITY DOCUMENT TRANSMITTAL

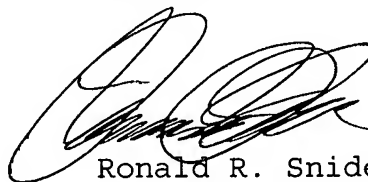
Assistant Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 CFR 1.55 and the requirements of 35 U.S.C. 119, attached hereto is a certified copy of the priority document, Japanese Patent Application No. 2002-223134, filed on July 31, 2002 and No. 2003-137052, filed on May 15, 2003.

It is respectfully requested that applicant be granted the benefit of the filing date of the foreign application and that receipt of this priority document be acknowledged in due course.

Respectfully submitted,



Ronald R. Snider
Reg. No. 24,962

Date: July 28, 2003

Snider & Associates
Ronald R. Snider
P.O. Box 27613
Washington, D.C. 20038-7613
(202) 347-2600

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-223134

[ST.10/C]:

[JP 2002-223134]

出 願 人

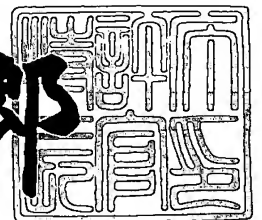
Applicant(s):

信越半導体株式会社

2003年 5月27日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3039948

【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0207752S

【提出日】 平成14年 7月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

 【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会
社 磯部工場内

 【氏名】 篠原 政幸

【発明者】

 【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会
社 磯部工場内

 【氏名】 山田 雅人

【特許出願人】

 【識別番号】 000190149

 【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100095751

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 菅原 正倫

 【電話番号】 052-212-1301

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 003388

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9901665

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子の製造方法及び発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 単結晶基板上に、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とを、この順序で形成した発光素子の製造方法において、

前記単結晶基板上に前記発光層部を有機金属気相成長法により形成する第一の気相成長工程と、

該第一の気相成長工程の後に、前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法により、前記電流拡散層を n 型半導体層として形成する第二の気相成長工程と

を有することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 2】 前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成されることを特徴とする請求項 1 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 3】 前記ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とされることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 4】 前記第二の気相成長工程において、電流拡散層の形成厚さを $5 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 5】 前記電流拡散層の前記電極を形成する側の主表面を含む表層部に、多数キャリアを生じさせるためのドーパントのキャリア濃度が前記電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 6】 前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型半導体層として形成され、前記ドーパントのキ

キャリア濃度が、前記高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、前記残余の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とされることを特徴とする請求項 5 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 7】 前記電流拡散層において、電極形成側部分をそれ以外の部分よりも GaAs 混晶比 $1 - a$ が大きい高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$) 層とし、当該高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とする高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項 2 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 8】 前記電流拡散層と、前記発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なる III-V 族化合物半導体にて構成され、前記電流拡散層は、前記発光層部と接する部分が有機金属気相成長法により形成される MO 層部とされ、それ以外の部分がハイドライド気相成長法により形成される HVPE 層部とされることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 9】 前記電流拡散層内に、該電流拡散層とは導電型の異なる III-V 族化合物半導体よりなる電流阻止層を埋設形成する電流阻止層形成工程を含み、

前記電流拡散層の、前記電極側において該電流阻止層を覆う部分を少なくとも、前記第二の気相成長工程により形成することを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 10】 前記電流阻止層形成工程は、

前記発光層部の上に、前記電流拡散層の一部をなす第一導電型の III-V 族化合物半導体よりなる第一層と、前記電流阻止層をなす第二の導電型の III-V 族化合物半導体よりなる第二層とを有機金属気相成長法により順次形成する第三の気相成長工程と、

得られた第二導電型の化合物半導体層を、前記電流阻止層となるべき部分を残して残余の部分をエッチング除去するエッチング工程とを有し、

前記第二の気相成長工程は、前記第一層と同一導電型のⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体からなる第三層を、前記第二層のエッチング後の残余部分をくるむように前記ハイドライド気相成長法により形成するものであることを特徴とする請求項9記載の発光素子の製造方法。

【請求項11】 前記第一層及び前記第二層を、いずれもAlを含有しないⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体により形成することを特徴とする請求項10記載の発光素子の製造方法。

【請求項12】 前記第一層、前記第二層及び前記第三層をいずれも、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) により形成することを特徴とする請求項11記載の発光素子の製造方法。

【請求項13】 前記第一層と前記第二層との間に、両層のいずれとも材質の異なるⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体からなる第四層を介挿形成し、

前記エッチング工程において、前記第四層をエッチストップ層として前記第二層を化学的に選択エッチングすることを特徴とする請求項12記載の発光素子の製造方法。

【請求項14】 前記第四層の厚みを1nm以上100nm以下に調整することを特徴とする請求項13記載の発光素子の製造方法。

【請求項15】 前記発光層部は、2種以上のⅢⅢⅢ族元素を含む $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成されるn型クラッド層、活性層及びp型クラッド層が前記電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有することを特徴とする請求項1ないし14のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項16】 前記単結晶基板はオフアングルを有するものが使用されるとともに、該単結晶基板は、 $\langle 100 \rangle$ 方向を基準方向として、前記オフアングルが 1° 以上 20° 以下の主軸を有するGaAs単結晶基板であることを特徴とする請求項15記載の発光素子の製造方法。

【請求項17】 単結晶基板上に、それぞれⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを形成した発光素子において、

前記単結晶基板上に、発光層部が有機金属気相成長法により形成されてなり、
該発光層部の上に、前記電流拡散層が前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法を用いて n 型半導体層として形成されてなることを特徴とする発光素子。

【請求項 1 8】 前記電流拡散層の前記ハイドライド気相成長法により形成された部分の C 濃度が $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下であることを特徴とする請求項 1 7 記載の発光素子。

【請求項 1 9】 前記電流拡散層と、前記発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なる III-V 族化合物半導体にて構成され、前記電流拡散層は、前記発光層部と接する部分が有機金属気相成長法による MO 層部として形成され、それ以外の部分がハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成されたものであることを特徴とする請求項 1 7 又は 1 8 に記載の発光素子。

【請求項 2 0】 単結晶基板上に、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とをこの順序で形成した発光素子において、

前記発光層部は、2 種以上の III 族元素を含む $(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_y \text{In}_{1-y} \text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成される n 型クラッド層、活性層及び p 型クラッド層が、前記電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有し、かつ、前記 n 型クラッド層が Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上をドーパントとする n 型 $(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_y \text{In}_{1-y} \text{P}$ にて構成され、

前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい n 型 $\text{GaAs}_{1-a} \text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成され、さらに、

前記電流拡散層中の C 濃度が、前記 n 型クラッド層の C 濃度よりも小さくされてなることを特徴とする発光素子。

【請求項 2 1】 前記電流拡散層の前記発光層部と接する部分が有機金属気

相成長法によるMO層部として形成され、それ以外の部分がハイドライド気相成長法によるHVPE層部として形成されたものであることを特徴とする請求項20に記載の発光素子。

【請求項22】 前記電流拡散層の形成厚さを $5\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする請求項20又は21に記載の発光素子。

【請求項23】 前記電流拡散層の前記電極を形成する側の主表面を含む表層部に、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるドーパントのキャリア濃度が前記電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項20ないし22のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項24】 前記電流拡散層は、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上としたn型半導体層として形成され、前記ドーパントのキャリア濃度が、前記高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下、前記残余の部分において $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下とされることを特徴とする請求項23記載の発光素子。

【請求項25】 前記電流拡散層において、電極形成側部分を、それ以外の部分よりもGaAs混晶比 $1-a$ が大きい高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$)層とし、当該高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とする高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項23又は24に記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は発光素子の製造方法及び発光素子に関し、詳細には、発光の取出をn型半導体層側から行なう発光素子に適した発光素子の製造方法および発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ 混晶 (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)

；以下、AlGaInP 混晶、あるいは単に AlGaInP と記載する）により発光層部が形成された発光素子は、薄い AlGaInP 活性層を、それよりもバンドギャップの大きい n 型 AlGaInP クラッド層と p 型 AlGaInP クラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用することにより、高輝度の素子を実現できる。また、このような発光素子においては、発光層部にて得られる発光を取り出す側が、n 型 AlGaInP クラッド層側または p 型 AlGaInP クラッド層側のいずれかが採用される。なお、本発明においては、発光層部における発光を n 型半導体層側から取り出す発光素子を対象とする。つまり、ここでは、n 型 AlGaInP クラッド層側から発光を取り出すものとなる。

【0003】

例えば、AlGaInP 発光素子を例に取れば、p 型 GaAs 基板上にヘテロ形成させる形にて、p 型 GaAs バッファ層、p 型 AlGaInP クラッド層、AlGaInP 活性層、n 型 AlGaInP クラッド層をこの順序にて積層し、ダブルヘテロ構造をなす発光層部を形成する。発光層部への通電は、素子表面に形成された金属電極を介して行なわれる。ここで、金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部主表面の中央部のみを覆う形で形成され、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すようにする。

【0004】

この場合、金属電極の面積をなるべく小さくしたほうが、電極の周囲に形成される光漏出領域の面積を大きくできるので、光取出し効率を向上させる観点において有利である。従来、電極形状の工夫により、素子内に効果的に電流を拡げて光取出量を増加させる試みがなされているが、この場合も電極面積の増大はいずれにしろ避けがたく、光漏出面積の減少により却って光取出量が制限されるジレンマに陥っている。また、クラッド層のドーパントのキャリア濃度ひいては導電率は、活性層内でのキャリアの発光再結合を最適化するために多少低めに抑えられており、面内方向には電流が広がりにくい傾向がある。これは、電極被覆領域に電流密度が集中し、光漏出領域における実質的な光取出量が低下してしまうことにつながる。そこで、クラッド層と電極との間に、キャリア濃度を高めた低抵

抗率の電流拡散層を形成する方法が採用されている。従来、このような電流拡散層は、発光層部とともに、有機金属気相成長法 (MetalOrganic VaporPhase Epitaxy: 以下、MOVPE法ともいう) により形成されることが多かった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記のような発光素子における電流拡散層は、面内方向に電流を十分に拡げるために、層厚をある程度大きく設定すること、例えば発光層部よりは厚みを大きくして形成されるのが一般的である。しかし、MOVPE法は層成長速度が小さく、十分な厚さの電流拡散層を成長させるには非常な長時間を要し、製造能率の低下とコストの増大を招く問題がある。また、III族元素源としてMOVPE法に使用する有機金属は一般に高価である。さらに、MOVPE法においては、結晶性の向上を図るために、III族元素源に対してV族元素源 (AsH_3 、 PH_3 など) を相当大きな比率 (10～数百倍) にて配合しなければならないことも、コスト上は不利に作用する。

【0006】

また、MOVPE法により成長された電流拡散層には、有機金属分子からのH (水素) やC (炭素) が残留しやすい。そして、電流拡散層の導電性をSi (シリコン)、S (硫黄)、Se (セレン) やTe (テルル) のドーピングによりn型とする場合、残留したCがp型ドーパントとして寄与してしまい、電流拡散層として必要な導電率を確保するには、比較的多量のSi、S、SeやTeのn型ドーパントの添加が必要となる。しかし、これらn型ドーパントを多量に添加すると、以下のような問題を生ずる。

【0007】

すなわち、発光素子は、通電を継続するに伴い発光輝度が次第に低下する。例えば、一定電流により素子への通電を開始した直後に測定した発光輝度を初期輝度とし、積算通電時間の経過に従い減少する発光輝度を追跡したとき、発光輝度が予め定められた限界輝度に到達する時間、あるいは評価通電時間を一定値 (例えば1000時間) に固定したときの、初期輝度に対する評価通電時間経過後の輝度の比 (以下、これを素子ライフと称する) は、素子寿命を評価するための一

定の尺度となりえる。そして、電流拡散層中の、特に発光層部と隣接する部分の n 型ドーパントの含有濃度が高くなりすぎると、この素子ライフが低下しやすくなる。

【 0 0 0 8 】

本発明は、導電型が n 型とされる電流拡散層を効率よく形成できる発光素子の製造方法を提供することを第一の課題とする。また、n 型とされる電流拡散層を用いつつも、素子ライフを向上可能な発光素子を提供することを第二の課題とする。

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段および作用・効果】

上記第一の課題を解決するために、本発明の発光素子の製造方法は、

単結晶基板上に、それぞれ I I I - V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とを、この順序で形成した発光素子の製造方法において、

前記単結晶基板上に前記発光層部を有機金属気相成長法により形成する第一の気相成長工程と、

該第一の気相成長工程の後に、前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法により、前記電流拡散層を n 型半導体層として形成する第二の気相成長工程と

を有することを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の発光素子の第一の構成は、

単結晶基板上に、それぞれ I I I - V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを形成した発光素子において、

前記単結晶基板上に、発光層部が有機金属気相成長法により形成されてなり、

該発光層部の上に、前記電流拡散層が前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法を用いて n 型半導体層として形成されてなることを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

本発明においては、電流拡散層を、n型半導体層として、ハイドライド気相成長法 (Hydride Vapor Phase Epitaxial Growth Method: 以下、HVPE法という) を用いて形成する。HVPE法は、蒸気圧の低いGaを塩化水素との反応により気化しやすいGaClに転換し、該GaClを媒介とする形でV族元素源ガスとGaとを反応させることにより、III-V族化合物半導体層の気相成長を行なう方法である。MOVPE法による層成長速度が約4 μm /時であるのに対しHVPE法では約9 μm /時であり、HVPE法によると層成長速度をMOVPE法よりも大きくでき、ある程度厚さを要する電流拡散層も非常に高能率にて形成できるので、原材料費をMOVPE法よりもはるかに低く抑えることができる。また、HVPE法では、III族元素源として高価な有機金属を使用せず、III族元素源に対するV族元素源 (AsH_3 、 PH_3 など) の配合比率もはるかに少なく済む (例えば1/3倍程度) ので、コスト的に有利である。

【0012】

次に、本発明における電流拡散層は、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きいn型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成されることを特徴とする。本発明においては、電流拡散層をHVPE法により成長するので、MOVPE法と異なりHやCの残留が生じにくい。従って、電流拡散層を、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上としたn型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成する場合、p型ドーパントとされるCの残留量が抑制されることにより、それらn型ドーパントのドーピング効率を効果的に高めることが可能となる。このことは、必要な導電率を確保するためのn型ドーパントの添加量を、MOVPE法による電流拡散層と比較してはるかに少量に留めることができることを意味し、結果として、n型ドーパントの含有濃度の軽減により前述の素子ライフを大幅に向上することができる。HVPE法 (ハイドライド気相成長法) により形成された電流拡散層のC濃度は、例えば $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下に留めることが可能であり、検出限界以下 (例えば $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度あるいはそれ以下) とすることも比較的容易である。つまり、電流拡散層のハイドライド気相成長法により

形成された部分のC濃度は、 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。なお、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上としたn型GaAs_{1-a}P_a ($0 \leq a \leq 1$)層からなる電流拡散層は、光吸収を抑制して光取出し効率を向上させるため、発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーが大きくなるように、GaP混晶比aを選択することが望ましい。

【0013】

電流拡散層における、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型のドーパントのキャリア濃度は、例えば $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。電流拡散層のn型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 未満では十分な導電率と電流拡散効果が得られず、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ を超えると合金化により結晶性が損なわれる。

【0014】

例えば、特開平5-275740号公報に開示された発光素子においては、LPE (Liquid Phase Epitaxy) 法あるいはVPE (Vapor Phase Epitaxy) 法の利点を活用して、電流拡散層を $50 \mu\text{m}$ もの厚膜に成長させている。しかし、厚膜に成長させるのには、相当の長時間を要する。このような観点から、本発明における電流拡散層（第二の気相成長工程において形成される）の形成厚さは $20 \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。ただし、電流拡散層が過度に薄くなれば、電流拡散効果が十分に得られなくなって発光効率の低下につながる。従って、電流拡散層の厚さは、 $5 \mu\text{m}$ 以上は確保しておくことが望ましい。すなわち、上述の第二の気相成長工程において形成する電流拡散層の形成厚さを $5 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。なお、光取出し効率の向上を優先させる場合は、電流拡散層の形成厚さを $20 \mu\text{m}$ を超える値とすることももちろん可能であるが、過度に厚膜化した電流拡散法は、素子表面から実際に発光するp-n接合界面近傍の層部や、活性層までの距離が大きくなりすぎ、直列抵抗増大により、Vf（順方向電圧）が増大する問題がある。従って、このような不具合が生じないように、電流拡散層の厚さは $45 \mu\text{m}$ 以下に留めることが望ましい。

【0015】

上記のように電流拡散層の層厚を小さく設定する場合、電流拡散層の電極を形成する側の主表面を含む表層部に、多数キャリアを生じさせるためのドーパントキャリア濃度が電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することが望ましい。このような高濃度ドーピング層を形成することにより、電流拡散層表層部での電流の面内拡散効果が高められ、ひいては層厚が小さくとも十分な電流拡散効果が得られる。また、層の全体に渡ってドーパント含有濃度を高めるのではなく、表層部だけ選択的に高濃度化するので、ドーパント含有濃度が過剰となることによる前述の素子ライフ低下や、多数キャリアによる光の散乱損失といった問題も生じにくい。

【 0 0 1 6 】

高濃度ドーピング層を形成することのメリットとしては、本発明のように電流拡散層を n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層といった n 型半導体層として構成する場合に特に顕著である。すなわち、本発明においては、HVPE法により電流拡散層を成長するので、残留するCが p 型ドーパントとして振舞う量が少なく、元からSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされる n 型ドーパントの添加量を削減することができる。その結果、素子ライフ低下等を生ずる限界量までの n 型ドーパントの濃度マージンが大きく、高濃度ドーピング層を形成しても素子ライフ等に与える影響を本質的に小さく留めることができる。なお、電流拡散層にハイドライド気相成長法により形成されたHVPE層部を形成する場合、該HVPE層部は、発光層部に近い主表面側において n 型ドーパント含有濃度を、 n 型クラッド層の n 型ドーパント含有濃度よりも低く設定しておくこと、素子ライフの低下抑制を一層効果的に図ることができる。

【 0 0 1 7 】

具体的には、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とした n 型半導体層として形成される電流拡散層におけるドーパント濃度について、高濃度ドーピング層においては、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下となっていることが望ましい。高濃度ドーピング層の n 型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満では、高濃度ドーピング層の面内方向の電流拡散促進効果に乏しくなり、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ を超えると、合金化に

より結晶性が損なわれる懸念が生ずる。また、高濃度ドーピング層の厚さは $1\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。厚さが $1\ \mu\text{m}$ 未満では面内方向電流拡散の促進効果に乏しく、 $4\ \mu\text{m}$ を超えると電流拡散層全体に占める高濃度ドーピング層の厚さ比率が大きくなりすぎ、同様に、合金化により結晶性が損なわれ素子ライフや発光強度の低下を招く恐れがある。

【 0 0 1 8 】

一方、電流拡散層内の、高濃度ドーピング層以外の残余の部分においては、 n 型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下となっていることが望ましい。該部分の n 型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 未満では、該部分の直列抵抗が増大し、発光効率の低下を招く。他方、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ を超えると、該部分から発光層部側へ n 型ドーパントが多く拡散し、発光性能の低下等を生ずる場合がある。すなわち、電流拡散層を、ドーパントを Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型半導体層として形成するとき、そのドーパントのキャリア濃度が、高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とし、高濃度ドーピング層以外の残余の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とするのが望ましい。

【 0 0 1 9 】

なお、電流拡散層は GaP にて構成すれば、 GaP は比較的広いバンドギャップを有しているので、発光層部から発光波長の短い光が放出されている場合でも光吸収を起しにくい。従って、光取出し効率を確保する上で有利であり、また、光吸収抑制を考慮したときの発光層部の材料選択幅も広げられる利点がある。

【 0 0 2 0 】

一方、 GaAs を配合した $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ により電流拡散層を構成すると、以下のような利点が生ずる。 GaAs は、 GaP に比べて成長温度が低く、電流拡散層を形成する際に、 n 型ドーパントが発光層部側に過度に拡散したり、あるいは発光層部内のドーパントの拡散による分布変化、特に、ダブルヘテロ構造におけるクラッド層から活性層へのドーパントの拡散により、発光性能が低下したりする不具合を効果的に抑制することが可能となる。なお、この目的にて Ga

$\text{As}_{1-a}\text{P}_a$ を採用する場合は、所望の発光波長に相当するバンドギャップより大きくなるように、 GaP の混晶比 a が0.5以上0.9以下の範囲で設定することが望ましい。 GaP の混晶比 a が0.9を超えると、 GaAs の混晶比が小さくなりすぎ、HVPE法により成長する際の成長温度が高くなってドーパントの拡散抑制効果が十分に得られなくなる場合がある。一方、 GaP の混晶比 a が0.5未満では、 GaAs の混晶比が高くなり、バンドギャップが縮小して光吸収が生じやすくなる場合がある。

【0021】

また、電流拡散層の電極形成部分を、それ以外の部分よりも GaAs 混晶比 $1-a$ が大きい高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$)層とし、当該高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上をn型ドーパントのドーパント源とする高濃度ドーピング層を形成すると、該ドーパントの過度の拡散を抑制することが可能となり、ひいては、高濃度ドーピング層に対して電流拡散層表層部での電流の面内拡散効果をさらに効果的に付与することができる。高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層は高濃度ドーピング層よりも少し(0.5 μm から2 μm 程度)厚く形成するのがよく、高濃度ドーピング層を例えば1 μm 以上4 μm 以下にて形成する場合、高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層は2 μm 以上5 μm 以下にて形成するとよい。

【0022】

本発明において、電流拡散層は、その全体をHVPE法にて形成することを排除しない。しかし、電流拡散層と、発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なるIII-V族化合物半導体にて構成される場合、その格子定数差がある程度大きい場合は、発光層部上に直接HVPE法により電流拡散層を形成すると、電流拡散層の結晶性が低下し、発光性能の低下を招くおそれがある。そこで、このような場合、電流拡散層は、発光層部と接する部分を有機金属気相成長法により形成されるMO層部とし、それ以外の部分をハイドライド気相成長法により形成されるHVPE層部とすれば、電流拡散層の結晶性が向上し、ひいては発光特性の良好な発光素子が得られる。すなわち、電流拡散層と、発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なるIII-V族

化合物半導体にて構成されるとき、電流拡散層を、発光層部と接する部分を有機金属気相成長法により形成されるMO層部とし、それ以外の部分をハイドライド気相成長法により形成されるHVPE層部とするのが望ましい。

【 0 0 2 3 】

次に、本発明の発光素子においては、電流拡散層内に、該電流拡散層とは導電型の異なるIII-V族化合物半導体よりなる電流阻止層を埋設形成することができる。そこで、本発明の製造方法においては、電流拡散層内に、該電流拡散層とは導電型の異なるIII-V族化合物半導体よりなる電流阻止層を埋設形成する電流阻止層形成工程を含み、電流拡散層の、発光層部とは反対側の電極側において該電流阻止層を覆う部分を少なくとも、第二の気相成長工程により形成することを特徴とする。電極は遮光体として作用するため、この電極に素子駆動のための電圧を印加した場合、素子内の電流密度は電極直下付近で高く、光取出領域となる電極の周囲領域では低くなることにより、光取出効率が低下しやすくなる。そこで、上記のような電流阻止層を、例えば電極の電極直下位置において電流拡散層中に埋設形成すれば、電流阻止層により電流に電極領域外への迂回が生じ、光取出効率を高めることができる。なお、本明細書において電流阻止層は、電流拡散層に属さないものとして考える。

【 0 0 2 4 】

この場合、該電流阻止層を埋設形成する電流阻止層形成工程が必要となる。そして、本発明においては、電流拡散層内の、電極側において該電流阻止層を覆う部分を少なくとも、第二の気相成長工程（つまり、HVPE法）により形成する。電流阻止層を埋設形成する際に、電流阻止層を覆う電流拡散層部分をMOVPE法やLPE法で形成すると、最終的な電流拡散層の表面に、電流阻止層の形状がパターンダレした大きな段差が結晶欠陥を伴って生じやすい問題がある。このような段差や結晶欠陥は、電極との導通不良を招いたり、あるいは画像処理を用いて電極にワイヤを自動ボンディングする際には、画像の誤検出要因となって、ワイヤボンディングを形成する工程での能率及び歩留まり低下を招く場合がある。しかし、HVPE法で電流阻止層を覆う電流拡散層部分を形成すると、そのような段差や結晶欠陥がほとんど生じず、表面の平滑な電流拡散層が得られ、上

記のような不具合が生じにくい。

【 0 0 2 5 】

電流阻止層形成工程は、具体的には以下のような工程を含むものとして実施することができる。

①第三の気相成長工程：発光層部の上に、電流拡散層の一部をなす第一導電型（つまり n 型）の III-V 族化合物半導体よりなる第一層と、電流阻止層をなす第二の導電型（つまり p 型）の III-V 族化合物半導体よりなる第二層とを有機金属気相成長法（MOVPE 法）により順次形成する。

②エッチング工程：得られた第二導電型（p 型）の化合物半導体層を、電流阻止層となるべき部分を残して残余の部分をエッチング除去する。

そして、第二の気相成長工程は、第一層と同一導電型の III-V 族化合物半導体からなる第三層を、第二層のエッチング後の残余部分をくるむようにハイドライド気相成長法（HVPE 法）により形成する。

【 0 0 2 6 】

第一層は、電流拡散層の、電流阻止層に対する下地となる部分をなすものであり、第二層は電流阻止層をなす部分である。上記方法によると、第一層及び第二層を形成する第三の気相成長工程を、発光層部の形成される第一の気相成長工程に続く形で、同じ MOVPE 法により実施できるので能率的である。これら第一の気相成長工程及び第三の気相成長工程を同一の成長容器内で基板を容器外に取り出さずに連続的に行なうと、特に効果が大きい。

【 0 0 2 7 】

この場合、第三の気相成長工程が終了すると、基板を容器外に取り出して、HVPE 法により第二の気相成長工程を行なうための容器に移し替える必要がある。このとき、第一層及び第二層は容器外の雰囲気さらされるので、酸化の影響が問題になる場合がある。また、後述のように第二層を化学エッチングする場合は、そのエッチング時に受ける酸化も考慮する必要がある。この観点においては、第一層及び第二層を、いずれも、酸化されやすい元素である Al（アルミニウム）を含有しない III-V 族化合物半導体により形成するとよい。具体的には、第一層、第二層及び第三層をいずれも $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ：発光

層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい) により形成することができる。これは、第三層をHVPE法にて形成する際に、 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) が最も成長が容易で高品質のものが得られるためであり、MOVPEにより形成される第二層も、これに合わせ込む形で $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) を採用する。また、第一層を同じ $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$: 発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい) とすることにより、第三の気相成長工程において、MOVPE法により第一層を形成後、第二層の形成に移行する際に原料ガスの切り替えが不要となり、製造が容易となる。なお、各層のGaP混晶比 a を同じに設定しておくこと、製造がより容易となる。また、不要なバンド端不連続も生じないので、それによる発光性能の低下等も懸念する必要がなくなる。

【0028】

なお、第二層と第一層とは、同じ $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) であっても導電型は反対とされる。第三層を、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上をn型ドーパントとするn型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層とする場合、第二層はZn（亜鉛）やMg（マグネシウム）等をドーパントとするp型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層とする。なお、この場合の電流拡散層は、MOVPE法による第一層と、HVPE法による第三層とでn型ドーパントの種別を異ならせてもよい。

【0029】

上記第一層と接触する第三層には、高濃度ドーピング層を形成することが電流拡散効果を高める上でより有利である。第三層の高濃度ドーピング層以外の部分、つまり、第一層と接する部分のドーパント含有濃度を、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下に十分に低く設定しておくこと、高濃度ドーピング層からのSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントの拡散の影響が第三層を経て発光層部に及ぶ不具合を効果的に抑制することができる。

【0030】

次に、エッチング工程において、第二層をエッチングする方法としては、気相エッチングを行なってもよいが、エッチング液を用いた化学エッチングが簡便で、能率もよいので本発明に好適に採用できる。この化学エッチングは、第二層に対するエッチング活性が、第一層に対するエッチング活性よりも高く、第二層のみを選択的にエッチングできるものを使用することが好ましい。しかし、第一層と第二層とが同一材質の化合物半導体よりなる場合、第一層と第二層とに対して顕著なエッチング活性差を有したエッチング液を得ることは容易ではなく、例えばやむを得ずエッチング活性差の小さい液を用いてエッチングを行なうと、選択エッチング能力が不足して、第一層にまでエッチングの影響が大きく及んでしまう不具合を生ずる。

【 0 0 3 1 】

このような場合、第一層と第二層との間に、両層のいずれとも材質の異なる I I I - V 族化合物半導体からなる第四層を介挿形成し、エッチング工程において、第四層をエッチストップ層として第二層を第一のエッチング液により化学的に選択エッチングすることが有効である。つまり、第二層とは材質の相違する第四層を、該第二層の下地として形成しておけば、材質が同じである第一層と第二層とに対しては適当なエッチング液が見つからなくても、材質が相違する第二層と第四層とであれば、適当な選択エッチング性を有したエッチング液を容易に見出すことができる。そして、このようなエッチング液を第一のエッチング液として用いることにより、エッチング工程においては該第四層がエッチストップ層として作用し、第二層を容易に選択エッチングできる。また、この第四層は、第二層の電流阻止層として残る部分の直下はエッチングされずに残留するが、その残留部分は電流阻止層により電流が遮られる部分に生ずるので、発光特性等には何ら影響しない。

【 0 0 3 2 】

この第四層は、A 1 を含有しない I I I - V 族化合物半導体にて形成することが望ましい。すなわち、第二層を第一のエッチング液により選択エッチングする際に、エッチストップ層となる第四層に A 1 が含有されていると、エッチング液と A 1 とが反応して絶縁性の A 1 酸化層が形成される場合がある。後述の通り、

第四層の露出部分を第二のエッチング液によりエッチング除去して第三層の形成を行なう場合は、A l 酸化層はそのエッチングの妨げとなる。また、第四層を残して第三層を形成すると、A l 酸化層により直列抵抗が増加する上、第三層の第四層上へのエピタキシャル成長が妨げられる場合がある。いずれも、発光特性の低下につながる。

【 0 0 3 3 】

例えば、第二層を p 型 $A l_d G a_{1-d} P$ ($0 < d \leq 1$) 又は p 型 $(A l_b G a_{1-b})_c I n_{1-c} P$ ($0 < b \leq 1 ; 0 \leq c \leq 0.5$) にて形成する場合は、第一層を n 型 $G a A s_{1-a} P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) にて形成し、第二層に対するエッチング液として、例えば塩酸を用いる。すると、特に第四層を設けなくとも第二層を第一層に対して問題なく選択エッチングできる。しかし、第二層に含まれる A l の酸化が問題となる場合は、第二層も p 型 $G a A s_{1-a} P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) にて形成することが有効である。この場合は、第二層を化学エッチングにより選択エッチングすることが難しくなるので、例えば第二層よりも G a P の混晶比が大きい $G a A s_{1-b} P_b$ ($a < b \leq 1$) にて形成された第四層を介挿すると、第二層と第四層との間には選択エッチング性を付与しやすくなる。特に、第二層と第一層とが $G a A s_{1-a} P_a$ ($0.5 \leq a \leq 0.9$) からなり、第四層が G a P とされている場合、第四層によるエッチストップ効果が顕著である。この場合、第一のエッチング液としては、一例として硫酸あるいは硫酸と過酸化水素水との混合液を使用することにより、第四層をエッチストップ層とした第二層の選択エッチングを効果的に行なうことができる。

【 0 0 3 4 】

第四層の厚みは 1 n m 以上 1 0 0 n m 以下に調整することが望ましい。該厚みが 1 n m 未満ではエッチストップ効果が十分に得られず、1 0 0 n m より厚く形成することは、エッチストップ効果が飽和して不経済である。

【 0 0 3 5 】

例えば、第四層をエッチストップ層として第二層の外側を第一のエッチング液により化学的に選択エッチングした後、当該第二層の外側に露出している第四層を、第一層をエッチストップ層として第二のエッチング液により化学的に選択エ

ッチングして第一層を露出させ、その後、第二の気相成長工程により第三層を第一層の外側と接するように形成することができる。このようにすると、電流阻止層として残った第二層の周囲において、電流拡散層をなす第一層と第三層との間に、不要な第四層が残留せず、該第四層による光吸収等の問題も生じにくい。なお、第四層の厚さを 1 0 n m 以上 5 0 n m 以下の小さな範囲に設定すれば、第四層による光吸収等の影響はほとんど生じないので、第二層の外側に露出している第四層をエッチングせずに第三層を形成することも可能である。

【 0 0 3 6 】

発光層部は、2 種以上の I I I 族元素を含む $(A l_x G a_{1-x})_y I n_{1-y} P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成される n 型クラッド層、活性層及び p 型クラッド層が、発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして形成できる。活性層の両側に形成されるクラッド層とのバンドギャップ差に起因したエネルギー障壁により、注入されたホールと電子とが狭い活性層中に閉じ込められて効率よく再結合するので、非常に高い発光効率を実現できる。さらに、活性層の組成調整により、広範囲の発光波長を実現することができる。

【 0 0 3 7 】

次に、本発明の製造方法においては、単結晶基板はオフアングルを有するものが使用されるとともに、該単結晶基板は $\langle 1 0 0 \rangle$ 方向を基準方向として、オフアングルが 1° 以上 $2 0^\circ$ 以下の主軸を有する G a A s 単結晶基板であることを特徴とする。

【 0 0 3 8 】

$(A l_x G a_{1-x})_y I n_{1-y} P$ からなる発光層部は、単結晶基板としてオフアングルを有さないものを使用したとき、I I I 族原子 (A l, G a, I n) の規則化や分布の偏りにより、バンドギャップエネルギーが小さくなる側にシフトしやすく、結果として発光波長が短波長側にばらつきやすくなる問題がある。例えば、これを解消するためにはバンドギャップエネルギーの高い A l P の混晶比を大きくして、発光波長のずれを補償する方法が考えられる。しかし、A l P の混晶比を高めることは、間接遷移成分が増える方向にバンド構造が変化する

ので、発光強度の低下を招く場合がある。従って、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ より発光層部を構成する場合、オフアングルを有する単結晶基板を使用することにより、発光素子にて取り出す発光を、そのスペクトルプロファイルや中心波長のバラツキが効果的に抑制された形とすることが可能となる。なお、ここで、オフアングルを有するものとは、その単結晶基板の結晶主軸が、 $\langle 100 \rangle$ を基準方向として定めた場合に、該基準方向に対して一定の角度をオフアングルとして傾けてあるものを言う。

【 0 0 3 9 】

また、上記オフアングルは、 1° 以上 20° 以下とされる。該オフアングルが 1° 未満では既に説明した発光特性（発光スペクトルプロファイルや中心波長）のバラツキ抑制効果に乏しく、 20° を超えると正常な発光層部成長が不能となる問題があるからである。

【 0 0 4 0 】

次に、本発明の発光素子の第二の構成は、

単結晶基板上に、それぞれⅢⅢⅢ－Ⅴ族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とをこの順序で形成した発光素子において、

発光層部は、2種以上のⅢⅢⅢ族元素を含む $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 < y \leq 1$ ）にて構成されるn型クラッド層、活性層及びp型クラッド層が、電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有し、かつ、n型クラッド層がSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上をドーパントとするn型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ にて構成され、

電流拡散層は、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きいn型 $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）層として形成され、さらに、

電流拡散層中のC濃度が、前記n型クラッド層のC濃度よりも小さくされてなることを特徴とする。

【 0 0 4 1 】

$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ のダブルヘテロ構造を用いて発光層部を構成した発光素子において、本発明のように n 型クラッド層側を光取出し側として、ここに電流拡散層を設ける場合、この電流拡散層は、従来 MOVPE 法にて形成されていたため H や C の残留量が多く、残留した C が p 型ドーパントとして寄与した分を補償するために、n 型クラッド層よりも n 型ドーパントの含有濃度を相当高く設定していた。そして、この過剰なドーパント添加により、素子ライフが短くなる不具合を生ずることは、既に説明した通りである。

【 0 0 4 2 】

上記本発明の発光素子の第二の構成においては、電流拡散層を、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型 $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成するとともに、電流拡散層中の C 濃度を、n 型クラッド層の C 濃度よりも小さく設定する。このような C 濃度の大小関係は、電流拡散層を HVPE 法により成長することで容易に実現できる。その結果、電流拡散層中の Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの含有濃度を n 型クラッド層のものより低く設定しても、p 型ドーパントとして振舞う C の量が少ないので、十分な導電性を確保することができる。そして、電流拡散層中の n 型ドーパントの含有濃度を低くできる結果、素子ライフの向上を図ることができる。

【 0 0 4 3 】

発光層部を上記のように $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成する場合、電流拡散層を n 型 $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a \leq 1$: 発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい) 層とし、かつ該電流拡散層の発光層部と接する部分を有機金属気相成長法による MO 層部として形成し、それ以外の部分をハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成すればよい。発光層部をなす $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ と、電流拡散層をなす n 型 $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) とは、格子定数の開きが大きくなりやすいが、前述のように、電流拡散層の発光層部と接する部分をまず有機金属気相成長法により形成し、HVPE 法により電流拡散層の残余部分を形成すれば、電流拡散層の結晶性が向上

する。

【 0 0 4 4 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を添付の図面を参照して説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態である発光素子 1 0 0 を示す概念図である。発光素子 1 0 0 は、p 型 GaAs 単結晶基板（以下、単に基板という）1 の第一主表面上に素子本体部が形成されている。この基板 1 の第一主表面 MP 1 と接するように p 型 GaAs バッファ層 2 が形成され、該バッファ層 2 上に発光層部 2 4 が形成される。そして、その発光層部 2 4 の上に電流拡散層 7 が形成され、その電流拡散層 7 の上に、発光層部 2 4 に発光駆動電圧を印加するための第一電極 9 が形成されている。また、基板 1 の第二主表面 MP 2 側には、同じく第二電極 2 0 が全面に形成されている。第一電極 9 は、第一主表面 PF の略中央に形成され、該第一電極 9 の周囲の領域が発光層部 2 4 からの光取出領域とされている。また、第一電極 9 の中央部に電極ワイヤ 1 7 を接合するための Au 等にて構成されたボンディングパッド 1 6 が配置されている。

【 0 0 4 5 】

発光層部 2 4 は、ノンドープ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）混晶からなる活性層 5 を、n 型 $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ （ただし $x < z \leq 1$ ）からなる n 型クラッド層 6 と p 型 $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ （ただし $x < z \leq 1$ ）からなる p 型クラッド層 4 とにより挟んだ構造を有する。また、第一電極 9 側に n 型 AlGaInP クラッド層 6 が配置されており、第二電極 2 0 側に p 型 AlGaInP クラッド層 4 が配置されている。従って、通電極性は第一電極 9 側が負である。なお、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するものではない。

【 0 0 4 6 】

電流拡散層 7 は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以

上とした n 型 GaP 層として形成されている。また、電流拡散層 7 中の C の含有濃度及び、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの含有濃度は、それぞれ、n 型クラッド層 6 の含有濃度よりも小さくされる。さらに、電流拡散層 7 には、第一電極 9 に対応する位置に、p 型 $Al_{1-d}Ga_{1-d}P$ (例えば $d = 0.2$) よりなる電流阻止層 10 が埋設形成されている。電流拡散層 7 の形成厚さ t_1 は、例えば $5\mu m$ 以上 $20\mu m$ 以下 (一例として、 $10\mu m$) である。また、電流阻止層 10 の厚さは $0.05\mu m$ 以上 $1\mu m$ 以下 (例えば $0.1\mu m$) である。

【0047】

電流拡散層 7 の第一電極 9 を形成する側の主表面を含む表層部には、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの含有濃度が電流拡散層 7 内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層 8 が形成されている。電流拡散層 7 の Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントのキャリア濃度は、高濃度ドーピング層 8 において $1 \times 10^{18} / cm^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / cm^3$ 以下 (例えば、 $1 \times 10^{19} / cm^3$) であり、高濃度ドーピング層 8 以外の部分において $1 \times 10^{17} / cm^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / cm^3$ 以下 (例えば、 $8 \times 10^{17} / cm^3$) とされている。

【0048】

高濃度ドーピング層 8 の厚さ t_2 は $1\mu m$ 以上 $4\mu m$ 以下 (例えば $3\mu m$) である。高濃度ドーピング層 8 の厚さ t_2 は、ドーパントが最も高濃度となる電流拡散層表層部の n 型ドーパント含有濃度を N_{max} とし、他方、電流拡散層 7 の拡散の影響を受けていない部分での n 型ドーパント含有濃度を N_{min} としたとき、層厚方向において略 $(N_{max} + N_{min}) / 2$ となる位置を、高濃度ドーピング層 8 と残余の部分との境界位置として定めることにより特定される。なお、各層中のドーパント含有濃度及び C 濃度は、二次イオン質量分析法 (Secondary Ion Mass Spectrometry: SIMS) により測定されたものをいう。また、キャリア濃度は周知の導電率測定により特定可能である。

【0049】

電流拡散層 7 のうち、n 型クラッド層 6 と電流阻止層 10 との間に位置する部

分は、MOVPE法により形成された第一層7aである。また、電流阻止層10に関して第一層7aの反対側には、該第一層7aとともに電流阻止層10をくるむように覆う形で、電流拡散層7の要部をなす第三層7bが形成されている。この第三層7bは、後述するHVPE法により形成されたものであり、第一電極9側の表層部がSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントにより前述の高濃度ドーピング層8とされている。

【0050】

電流拡散層7中のC濃度は、HVPE法の採用により、MOVPE法によるn型クラッド層6のC濃度（通常、 $1.5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度）よりも小さく設定できる。具体的には、電流拡散層のハイドライド気相成長法により形成された部分のC濃度を $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。本実施形態では、電流拡散層7のうち第一層7aだけはMOVPE法により形成され、この部分のC濃度は多少高くなる。しかし、第三層7bのC濃度は $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下であり、通常、 2×10^{17} 以下である。第一層7aの厚さは第三層7bの厚さよりもはるかに小さいので、いずれにしても、電流拡散層7中のC濃度はp型クラッド層6のC濃度よりも十分に低い値となる。そして、電流拡散層7の要部をなす第三層7bのうち、高濃度ドーピング層8を除いた部分は、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントの含有濃度をn型クラッド層6の含有濃度よりも低く設定しても、p型ドーパントとして振舞うCの量が少ないので、十分な導電性を確保することができる。その結果、素子ライフの向上を図ることができる。

【0051】

また、電流拡散層7は、面内方向の電流拡散が主に高濃度ドーピング層8にて進む。そして、電流拡散層7における高濃度ドーピング層8以外の内層部分は、ドーパントによるキャリア濃度が低く面内方向の抵抗率が高いので、電流は該内層部分に入ると面内方向への再拡散が生じにくく、電極9の外側領域に迂回しつつ流れやすくなる。その結果、光取出し効率が向上する。

【0052】

なお、本実施形態では、第一層7aと第三層7bとを同じ化合物半導体（具体

的にはGaP)により形成しているが、互いに異なる化合物半導体にて形成することもできる(例えば、第一層7aをn型GaAs_{1-a}P_a(発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい)とし、第三層7bをn型GaPとする)。また、第一層7aと第三層7bとはいずれもn型ドーパントが添加される。このn型ドーパントの種類を、第一層7aと第三層7bとで異なるものとしてもよい。

【0053】

以下、図1の発光素子100の製造方法について説明する。

まず、図2の工程①に示すように、p型GaAs単結晶基板1を用意する。そして、工程②に示すように、その基板1の第一主表面MP1に、p型GaAsバッファ層2を例えば0.5μm、次いで、発光層部24として、各々(A_{1-x}Ga_{1-x})_yIn_{1-y}Pよりなる、1μmのp型クラッド層4(p型ドーパントはZnやMg:有機金属分子からのCもp型ドーパントとして寄与しうる)、0.6μmの活性層(ノンドープ)5、及び1μmのn型クラッド層6(n型ドーパントはSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上)を、この順序にてエピタキシャル成長させる(第一の気相成長工程)。これら各層のエピタキシャル成長は、公知のMOVPE法により行なわれる。Al、Ga(ガリウム)、In(インジウム)、P(リン)の各成分源となる原料ガスとしては以下のようなものを使用できる;

- ・Al源ガス;トリメチルアルミニウム(TMA1)、トリエチルアルミニウム(TEA1)など;
- ・Ga源ガス;トリメチルガリウム(TMGa)、トリエチルガリウム(TEGa)など;
- ・In源ガス;トリメチルインジウム(TMI_n)、トリエチルインジウム(TEI_n)など。
- ・P源ガス:トリメチルリン(TMP)、トリエチルリン(TEP)、ホスフィン(PH₃)など。

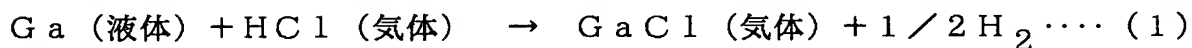
【0054】

次に、図3の工程③では、上記第一の気相成長工程の反応容器内にて引き続き

、すでに形成された発光層部 2 4 の上に、n 型 Ga P からなる第一層 7 a (MO 層部である) と、電流阻止層をなす p 型 $Al_d Ga_{1-d} P$ (例えば $d = 0.2$) からなる第二層 1 0' とを MOVPE 法により順次形成する。次に、第二層 1 0' の、電流阻止層 1 0 として残す部分の表面を、フォトレジスト層 3 0 にて覆う。そして、工程④に進み、塩酸からなる第一のエッチング液によりエッチングすると、第二層 1 0' の、フォトレジスト層 3 0 にて覆われなかった部分が選択的にエッチングされる。エッチングが終了したら、洗浄後、フォトレジスト層 3 0 を除去する。

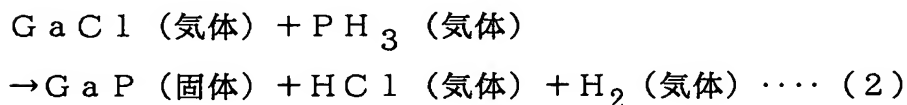
【 0 0 5 5 】

図 4 の工程⑤に進み、n 型 Ga P よりなる第三層 7 b (HVPE 層部である) を、HVPE 法により、電流阻止層 1 0 をくるむように成長させる (第二の気相成長工程)。HVPE 法は、具体的には、容器内にて III 族元素である Ga を所定の温度に加熱保持しながら、その Ga 上に塩化水素を導入することにより、下記 (1) 式の反応により $GaCl$ を生成させ、キャリアガスである H_2 ガスとともに基板上に供給する。



Ga P の場合、成長温度は例えば $800 \sim 860^\circ C$ 程度に設定する。また、V 族元素である P は、 PH_3 をキャリアガスである H_2 とともに基板上に供給する。

さらに、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントは、それぞれ SiH_4 、 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te の形で供給する。 $GaCl$ は PH_3 との反応性に優れ、下記 (2) 式の反応により、Ga との間で効率よく、電流拡散層 7 の要部をなす第三層 7 b を成長させることができる：



【 0 0 5 6 】

上記第三層 7 b の成長が終了したら工程⑥に進み、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントが高濃度に添加された高濃度ドーピング層 8 を形成する。

【 0 0 5 7 】

以上の工程が終了すれば、真空蒸着法により第一電極 9 及び第二電極 2 0 を形成し、さらに第一電極 9 上にボンディングパッド 1 6 を配置して、適当な温度で電極定着用のベーキングを施す。そして、第二電極 2 0 を A g ペースト等の導電性ペーストを用いて支持体を兼ねた図示しない端子電極に固着する一方、ボンディングパッド 1 6 と別の端子電極とにまたがる形態で A u 製のワイヤ 1 7 をボンディングし、さらに樹脂モールドを形成することにより、発光素子 1 0 0 が得られる。なお、ワイヤ 1 7 のボンディングは、カメラにより素子の第一表面を画像撮影し、周知の画像処理方法によりボンディングパッド 1 6 領域を識別して、自動ボンディング装置にて行なう。

【 0 0 5 8 】

以下、発光素子 1 0 0 の種々の変形例について説明する。図 5 は、電流阻止層 1 0 を、電流拡散層 7 をなす第一層 7 a 及び第三層 7 b と同じ G a A s P (ただし、導電型は p 型) にて構成した例である。この場合は、図 3 の工程が、図 6 のように変更される。すなわち、工程⑦に示すように、G a P からなる第四層 1 1 ' をエッチストップ層として形成し、工程⑧に示すように、電流阻止層 1 0 となる G a A s $_{1-a}$ P $_a$ ($0.5 \leq a \leq 0.9$) からなる第二層 1 0 ' を、例えば硫酸－過酸化水素水混合液を用いて選択エッチングする。さらに工程⑨においては、電流阻止層 1 0 の周囲に露出している第四層 1 1 ' をエッチング除去する。電流阻止層 1 0 の下側の第四層 1 1 は残留する。以降の工程は、図 4 と同じである。

【 0 0 5 9 】

電流拡散層を G a A s $_{1-a}$ P $_a$ ($0.5 \leq a \leq 0.9$)、電流阻止層を A l $_d$ G a $_{1-d}$ P (例えば $d = 0.2$) にて構成する場合、HVPE 法による G a A s $_{1-a}$ P $_a$ 層 (第三層 7 b) の形成が、前記 (2) 式において、P H $_3$ とともに A s H $_3$ が併用され、成長温度が、770～830℃とやや低めに設定される。

【 0 0 6 0 】

G a A s $_{1-a}$ P $_a$ より電流拡散層を構成することで、上記のように HVPE 法により成長する際の成長温度が低い。従って、発光層部側に、n 型の G a A s

1-a P_a からの電流拡散層をHVPE法により成長する際に、そのn型ドーパント（Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上）が発光層部側に過度に拡散したり、あるいは発光層部24に含まれるn型クラッド層6内のn型ドーパントが活性層5内に拡散したりして、発光性能を低下させたりする不具合が、より生じにくい。

【0061】

電流拡散層7を上記のようにGaAsPにて構成する場合、従来のLPE法を採用した場合は、ロット内あるいはロット間での組成のバラツキを生じやすい問題があったが、本発明のようにHVPE法を採用すると、このような組成のバラツキがLPE法よりもはるかに生じにくくなる利点がある。

【0062】

なお、図7に示すように、第四層11'の厚さが1nm以上50nm以下の小さな値とされていれば、電流阻止層（第二層）10の外側に露出している第四層11'をエッチングせずに第三層7bを形成することができる。この場合、電流阻止層10の外側においても、第一層7aと第三層7bとの間には第四層11'が介在形成された構造となる。第四層11'を上記のように極薄く形成することで、バンド不連続等の影響も小さくなり、発光層部24への通電も支障なく行なうことができる。当然、第四層11'のエッチングを省略できるので、工程も簡便である。

【0063】

また、図8は、電流阻止層を省略した構成を示している。この場合も、まず電流拡散層7の発光層部24と接する部分7pをMOVPE法によるMO層部として形成し、電流拡散層7のそれ以外の部分をHVPE法によるHVPE層部として形成するとよい。

【0064】

さらに、図9は、電流拡散層7の要部をn型GaPにより形成し、電流拡散層7の電極形成側部分のみn型GaAsP層7sとして形成するとともに、そのGaAsP層7s内にSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上をドーパントとする高濃度ドーピング層8を形成した例である。HVPE法によると、電流

拡散層 7 の成長途中で組成を変更すること（この場合、 $GaP \rightarrow GaAsP$ ）が、V 族元素ガス（ AsH_3 及び PH_3 ）の配合比率の変更により、容易に行なうことができる。

【0065】

以上のすべての実施形態においては、活性層 5 は上記実施形態では単一層として形成していたが、これを、バンドギャップエネルギーの異なる複数の化合物半導体層が積層されたもの、具体的には、量子井戸構造を有するものとして構成することもできる。量子井戸構造を有する活性層は、混晶比の調整によりバンドギャップが互いに相違する 2 層、すなわちバンドギャップエネルギーの小さい井戸層と大きい障壁層とを、各々電子の平均自由工程もしくはそれ以下の厚さ（一般に、1 原子層～数 nm）となるように格子整合させる形で積層したものである。上記構造では、井戸層の電子（あるいはホール）のエネルギーが量子化されるため、例えば半導体レーザー等に適用した場合に、発振波長をエネルギー井戸層の幅や深さにより自由に調整でき、また、発振波長の安定化、発光効率の向上、さらには発振しきい電流密度の低減などに効果がある。さらに、井戸層と障壁層とは厚さが非常に小さいため、2～3%程度までであれば格子定数のずれが許容され、発振波長領域の拡大も容易である。なお、量子井戸構造は、井戸層を複数有する多重量子井戸構造としてもよいし、井戸層を 1 層のみ有する単一量子井戸構造としてもいづれでもよい。なお、障壁層の厚さは、例えばクラッド層と接するもののみ 50 nm 程度とし、他は 6 nm 程度とすることができる。また、井戸層は 5 nm 程度とすることができる。

【0066】

また、基板 1 の上に発光層部 24 をバッファ層 2 を介して直接形成していたが、基板 1 と発光層部 24 との間に、光取出し効率を向上させるために反射層を介挿してもよい。反射層としては、例えば、特開平 7-66455 号公報に開示されているような、屈折率の相違する半導体膜を複数積層したものを利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の発光素子の一例を積層構造にて示す模式図。

【図 2】

図 1 の発光素子の製造工程を示す説明図。

【図 3】

図 2 に続く説明図。

【図 4】

図 3 に続く説明図。

【図 5】

図 1 の発光素子の、第一の変形例を示す図。

【図 6】

図 5 の発光素子の製造工程の、図 3 の工程との相違点を抜き出して示す説明図。

【図 7】

図 1 の発光素子の、第二の変形例を示す図。

【図 8】

図 1 の発光素子の、第三の変形例を示す図。

【図 9】

図 1 の発光素子の、第四の変形例を示す図。

【符号の説明】

- 1 単結晶基板
- 4 p 型クラッド層（第二導電型クラッド層）
- 5 活性層
- 6 n 型クラッド層（第一導電型クラッド層）
- 7 電流拡散層
 - 7 a 第一層
 - 7 b 第三層
- 8 高濃度ドーピング層
- 9 第一電極
- 10 電流阻止層

1 0 ' 第二層

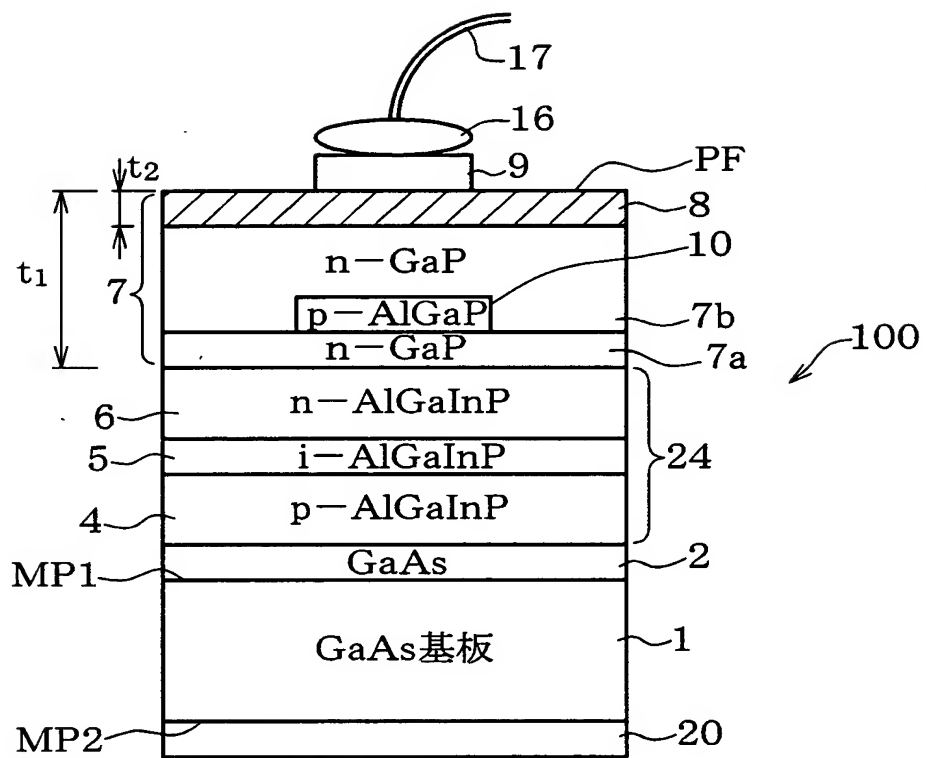
1 1 第四層

2 4 発光層部

1 0 0 発光素子

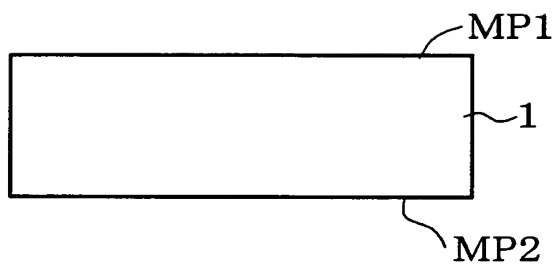
【書類名】 図面

【図 1】

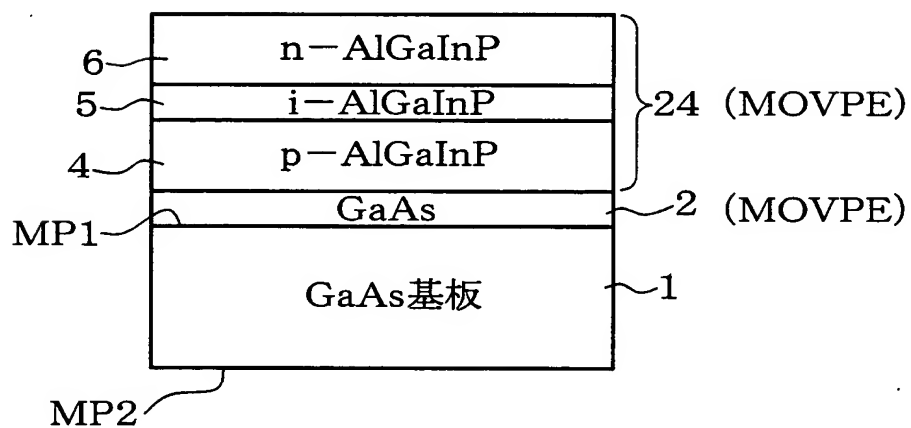


【図 2】

工程①

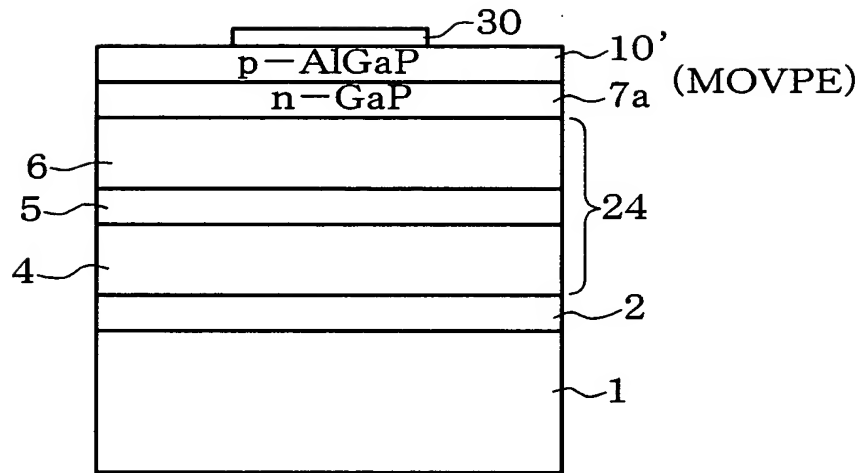


工程②

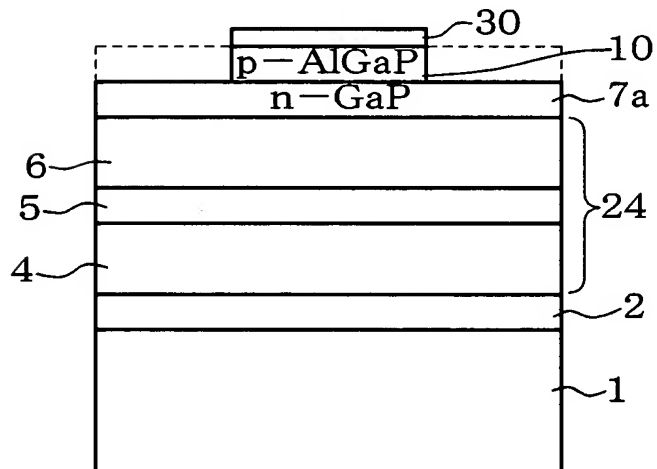


【図 3】

工程③

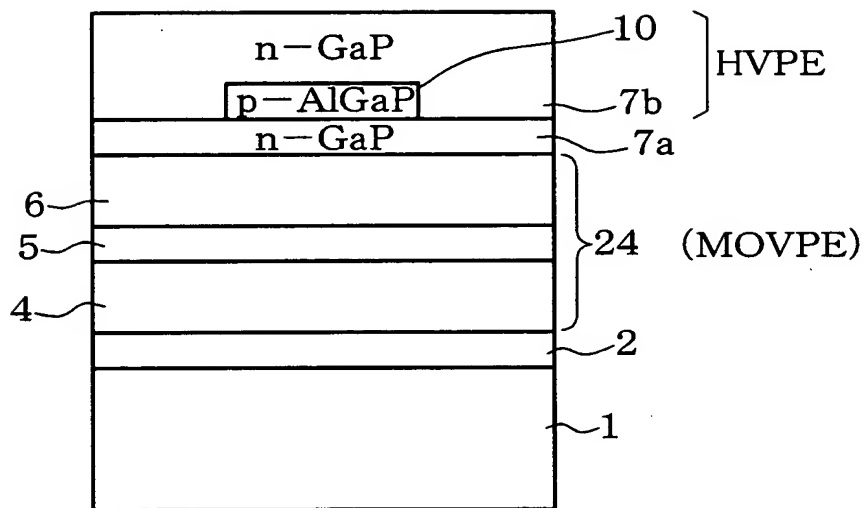


工程④

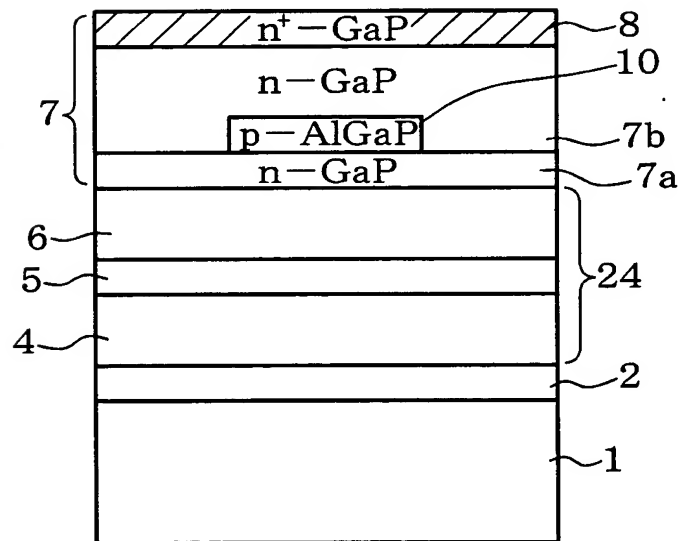


【図 4】

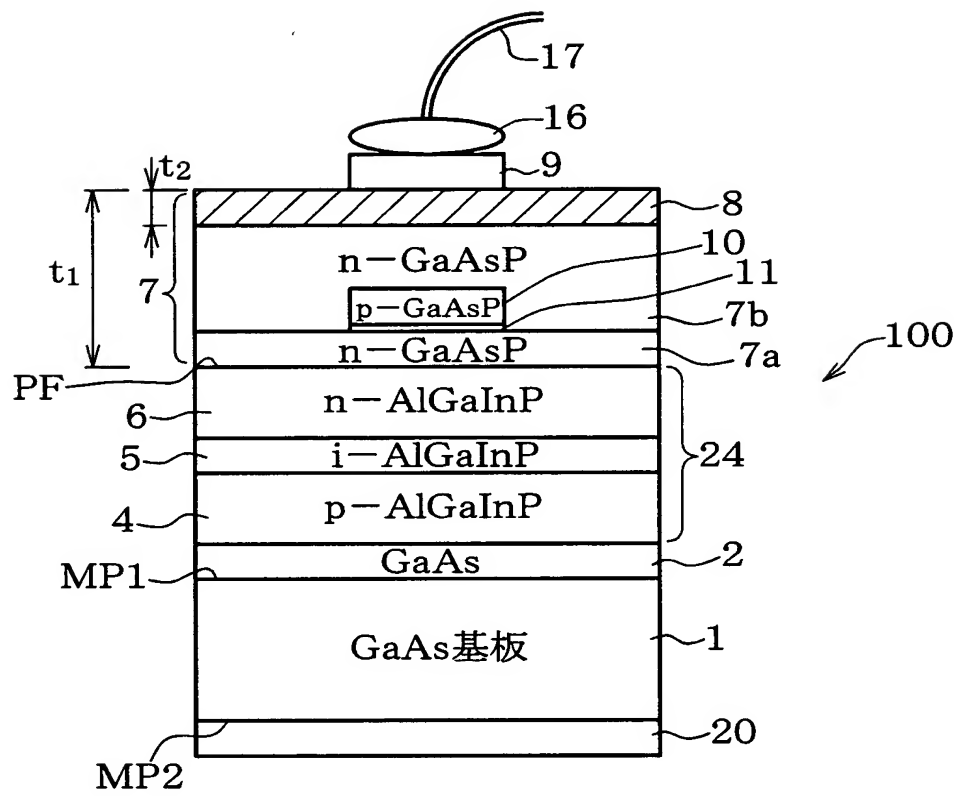
工程⑤



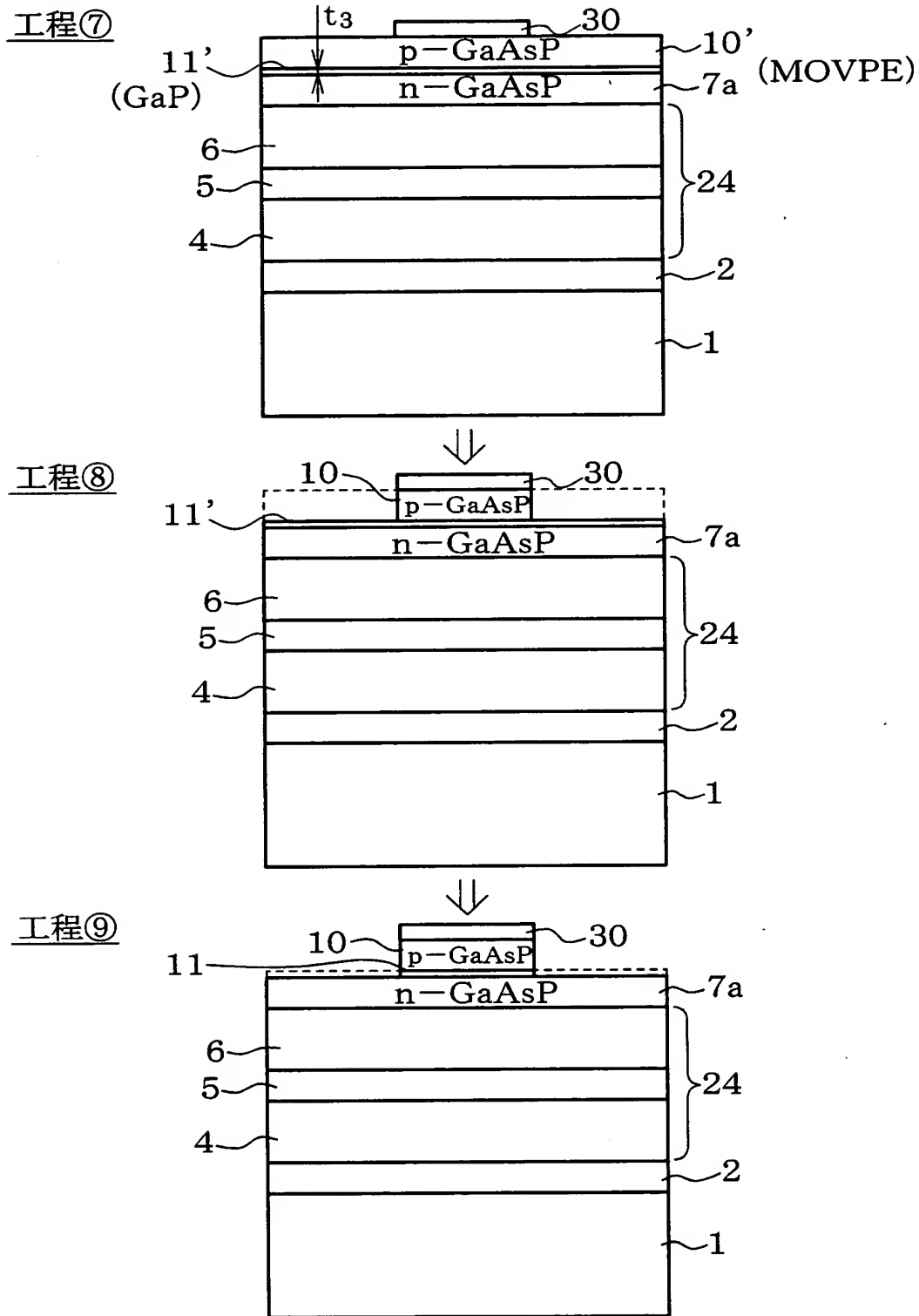
工程⑥



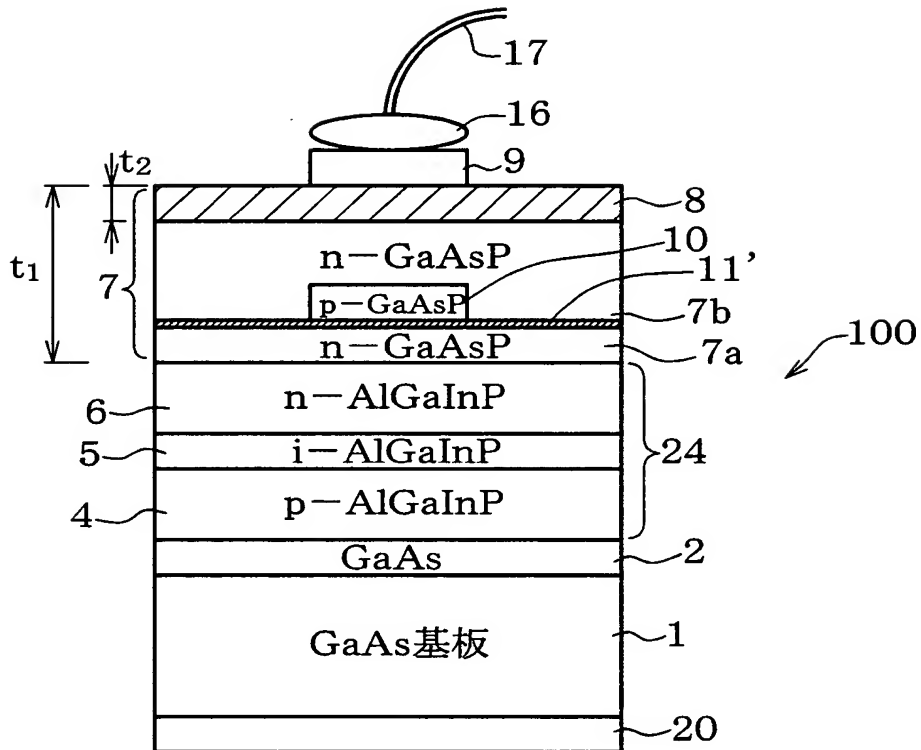
【图 5】



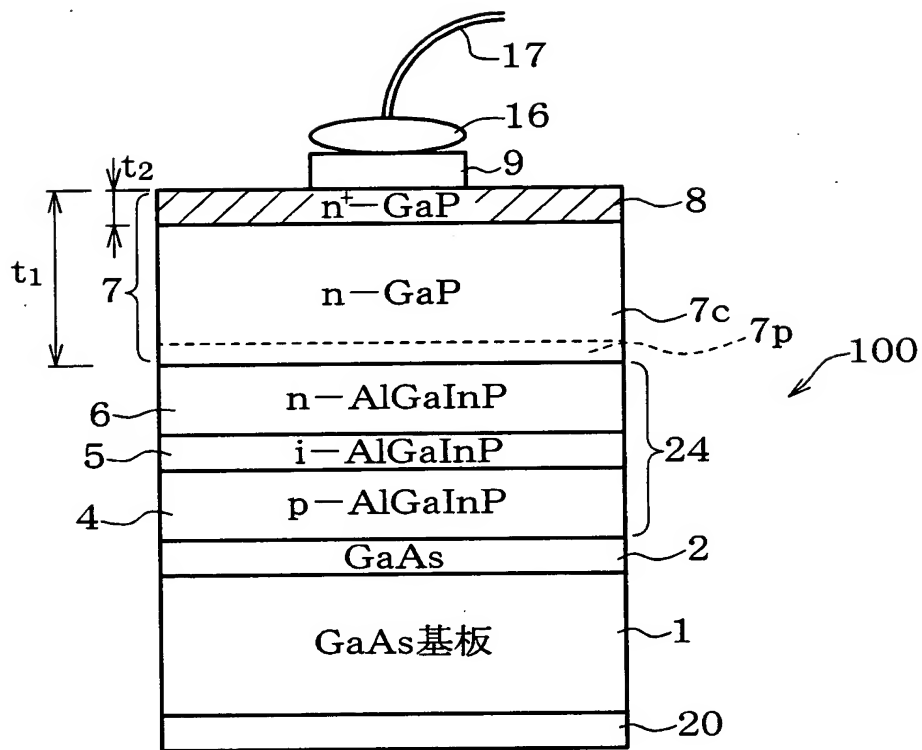
【図6】



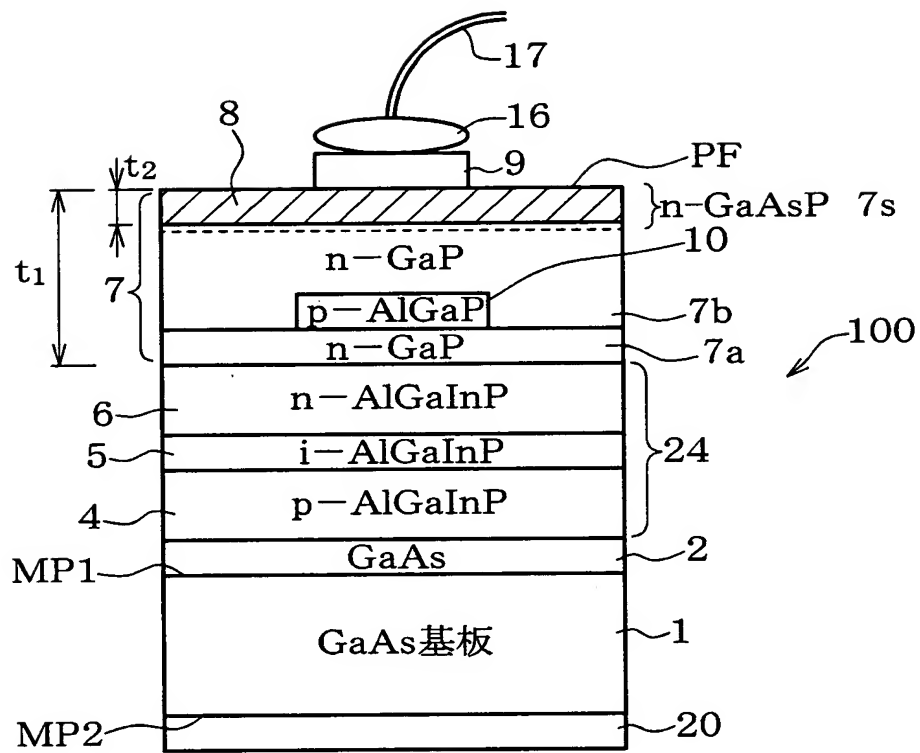
【图 7】



【図 8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 導電型が n 型とされる電流拡散層を効率よく形成できる発光素子の製造方法を提供することを第一の課題とし、n 型とされる電流拡散層を用いつつも、素子ライフを向上可能な発光素子を提供することを第二の課題とする。

【解決手段】 単結晶基板上 1 に、それぞれ I I I - V 族化合物半導体からなる発光層部 2 4 と電流拡散層 7 とを形成した発光素子 1 0 0 において、単結晶基板 1 上に、発光層部 2 4 を有機金属気相成長法により形成し、該発光層部 2 4 の上に導電型が n 型とされる電流拡散層 7 をハイドライド気相成長法により形成する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000190149]

1. 変更年月日	1990年 8月 7日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内1丁目4番2号
氏 名	信越半導体株式会社